仕　様　書（役務）

１．件名　　大気拡散シミュレーションに基づく内部被ばく線量計算プログラムの開発

２．数量　　１式

３．目的　　福島第一原子力発電所事故に伴い、当該原発近隣住民の内部被ばく線量評価に関する線量計算に用いる。

４．納入時期　　平成 25 年 2 月 15 日（金）

５．仕様　　別添資料による

６．保証期間　　納入より１年間は、障害等に対する無償保証を行うこととする。

７．提出図書　　取扱説明書　　3 部
作業成果報告書　3 部

８．納入場所：千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1　放射線医学総合研究所
（詳細な設置場所は契約後に協議の上決定する。）

９．検査　　当研究所の検査職員が実施する納品物の仕様に関する検査の合格をもって納品完了とする。

部課名：　緊急被ばく医療研究センター被ばく線量評価部
使用者氏名：栗原　治　栗原

（別添資料）

大気拡散シミュレーションに基づく内部被ばく線量計算プログラムの開発に係る仕様書
（役務）

1. 件名　大気拡散シミュレーションに基づく内部被ばく線量計算プログラムの開発

2. 概要

2－1　目的

平成23年3月11日に発生した東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所事故により，多量の放射性物質が周辺環境中に放出される事態に至った。当該原発を中心に半径20 km圏内の住民については避難勧告（3月12日），半径20kmから30km圏内の住民については屋内退避の指示（3月15日）が出され，住民に対する放射線防護措置が図られたものの，将来における放射線による健康リスクを判断する上で，住民の個人被ばく線量評価は重要である。現在までに，外部被ばく線量の推計は放射線医学総合研究所（以下，放医研）で進められており，内部被ばく線量の推計は福島県等がホールボディカウンタ（WBC）と呼ばれる機器を用いた検査によって実施されている。しかしながら，後者については，昨年度の6月に放射線医学総合研究所（以下，「放医研」）が先行調査として実施した検査が初めであり，放射性ヨウ素に代表される短半減期核種に対する測定が既に困難な状況であった。したがって，事故初期に存在していた短半減期核種を含めた内部被ばく線量の推計，及びそのための放射性物質の摂取状況に関するモデル化（線量再構築）が急務である。

放医研では，資源エネルギー庁からの委託事業である「平成24年度原子力災害影響調査等事業（事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばく線量評価調査）」を受託し，その成果を今年度中に報告することになっている。本仕様は，この事業の中核となる住民の内部被ばく線量の推計を行うための計算プログラムの引き合い仕様を定めるものである。

2－2　納品物及び納品方法

① 作成したプログラムの実行ファイル，取扱い説明書及び試験成績書を収めた電子媒体（DVD又はCR-ROM）
② 作成したプログラムを発注者が指定したサーバ機にインストール
③ 作業工程表，作業実施体制表，及び契約締結後に発注者側との協議により決定した事項をまとめた議事録

2－3　納期

平成25年2月15日

2－4　検収

発注者が指定したサーバ機に作成したプログラムをインストールし，担当者の立会いの下，所定の機能が適切に作動することの確認及び納入物品の精査を以って，検収とする。

（別添資料）

2－5　納品先

当研究所（千葉市稲毛区穴川 4-9-1）内，緊急被ばく医療共同実験施設 D-106 室（内線 372）

3. 内部被ばく線量計算プログラム

3－1　概要

実測された環境モニタリングデータとの整合性が十分に検証された放射性核種の拡散シミュレーションから得られる時系列空気中放射性核種濃度マップ（以下，濃度マップ）に基づき，任意の行動パターンに考慮した内部被ばく線量を計算する。すなわち，一定時間間隔毎に，滞在場所の空気中濃度を濃度マップから抽出し，これに適当な呼吸率及び屋内滞在時に期待される防護ファクター等を乗じ，放射性核種の摂取量を得る。一定時間間隔毎に得られた摂取量を積算し，所定の線量係数を乗じることで，事故初期段階の内部被ばく線量を計算する。また，この計算の妥当性を確認するため，実測された個人モニタリングデータとの比較を行うことを想定し，放射性核種の体内残留量及び排泄量を併せて計算する。図 1 に作成する内部被ばく線量計算プログラム（以下，プログラム）の概念を示す。

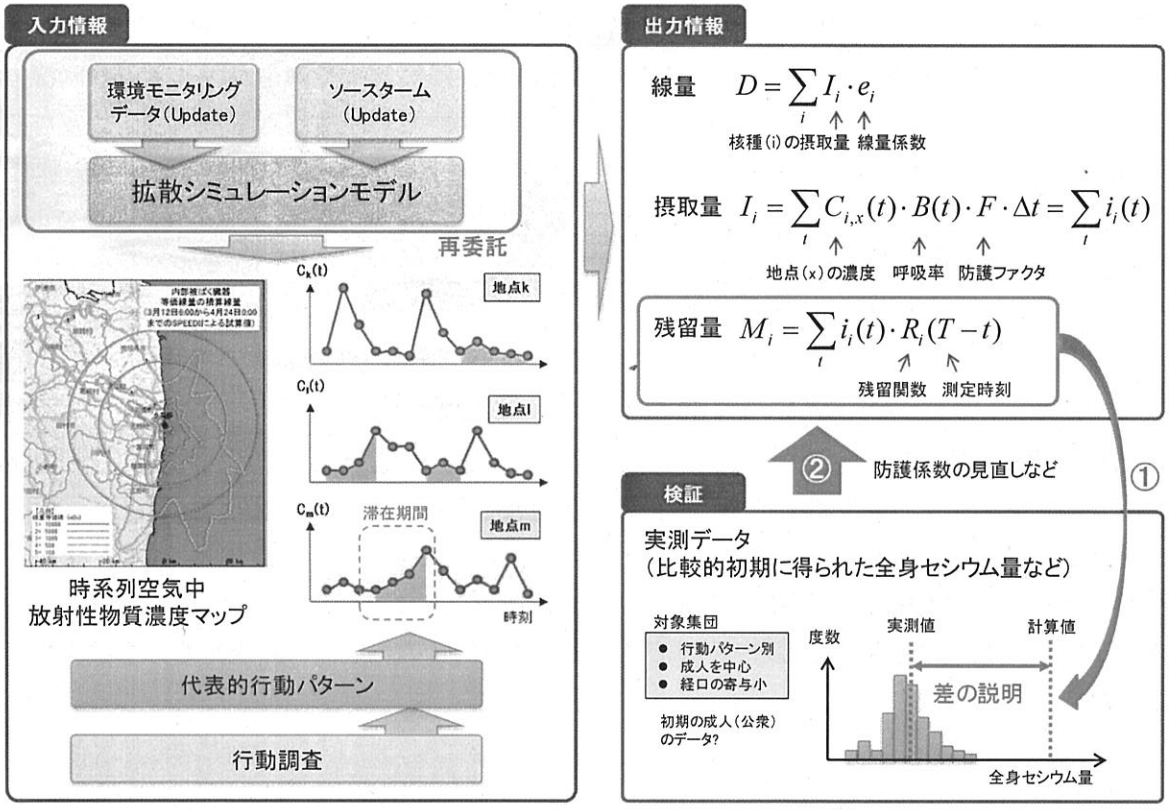

図 1 内部被ばく線量計算プログラムの概念

※ 拡散シミュレーションモデルにより計算する濃度マップの作成は別件の発注で行う。

3－2　プログラム全体の処理フロー

作成するプログラムの概要と処理フローを図 2 及び図 3 に示す。将来的に GUI インターフェース化を含めた機能拡張を想定した設計とする。本プログラムの入出力は，発注者との協議の上で決定した

所定の形式で記述されたテキストファイルを媒介として行う。なお，プログラムの起動は，放医研内の専用 LAN（研究系）に接続した PC 端末からサーバにログオンして行う。ただし，本プログラムの試作版についてはこの限りではない。

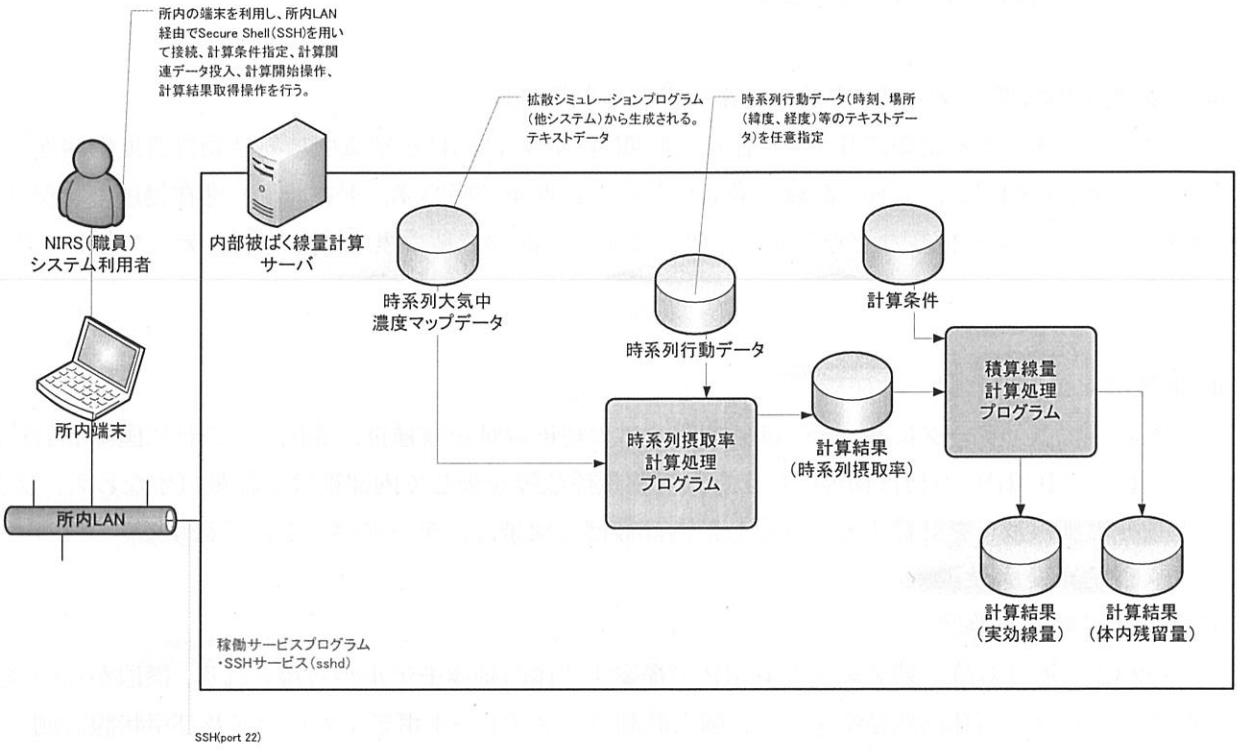

図 2　本プログラムの概要

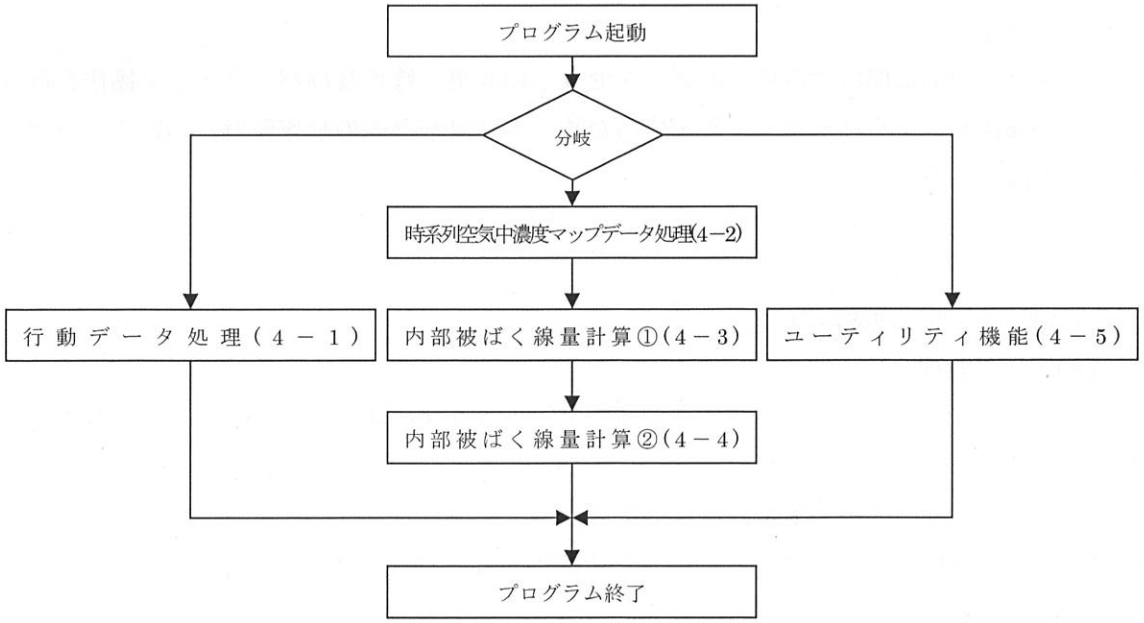

図 3　本プログラムの処理フロー

3－3　プログラムの計算処理機能（概要）

行動データ処理

個人またはダミーの行動パターンが所定の形式で記述されたデータファイルを入力情報とし，本プログラム内のデータベースに登録する。

時系列空気中濃度マップデータ及び時系列摂取率計算処理

行動データにある情報に基づき，任意の時間帯，場所における空気中放射性物質濃度を濃度マップデータから抽出し，これに評価対象者の年齢，性別及び呼吸率，滞在時間，滞在場所の状況（屋内外），必要な防護係数などを考慮し，吸入による放射性核種の摂取率を時系列データとして作成する。

内部被ばく線量計算①

上記の時系列データに基づき，評価期間全体の総摂取量を核種毎に算出し，これに国際放射線防護委員会（ICRP）の刊行物等に与えられる線量係数等を乗じて内部被ばく線量（すなわち，実効線量と等価線量）を計算する。計算した内部被ばく線量は，データベースに登録する。

内部被ばく線量計算②

4-2 (2)に述べる時系列データと ICRP が提案する体内動態モデルから得られる，摂取からの経過時間を関数とする体内残留率を用い，個人計測データ（ホールボディカウンタ及び甲状腺計測から得られる測定値）と比較可能な所定の体内残留量を計算し，データベースに登録する。体内残留率は，評価対象者の年齢や性別，放射性核種を含む化合物の化学形の違いを考慮する。

ユーティリティ

プログラム内部に保持する種々のデータセットの変更，修正及びバックアップ操作を行う。なお，この操作を行えるユーザーを限定するため，本プログラムの動作環境においてユーザーパスワードを設定する。

4. プログラム内の個別処理機能の仕様

4－1　行動データ処理

処理フローを図 4 に示す。行動データのフォーマットはタブ区切りのデータセットを基本とし，詳細は発注者との協議の上で決定する。

本処理における詳細な仕様は下記の通りである。

① 所定のフォルダ内に格納された行動データを検出し，処理対象となるファイルリストを一覧表示する。

② 選択されたファイルに含まれる個人識別 ID（あるいは，そのダミー）を表示する。

③ ファイルに含まれるデータが所定のフォーマットに従っていることを判断し，以降の処理に支障

がないことを確認する。

④ 上記の項目において，ファイルに含まれるデータが適切でない場合には個人識別 ID（あるいは，そのダミー）を表示し，当該のデータファイルの処理を中断し，次のデータファイルの処理を行う。

⑤ 選択したファイルに含まれるデータをデータベースに格納する。

⑥ ⑤のステータスをログに記録する。

⑦ データベースに既に同一の個人識別 ID を含むデータが格納されている場合には，新規に処理を行うデータに上書きし，その情報をログに記録する。

⑧ 全データは処理された後，ステータスをログに記録する。

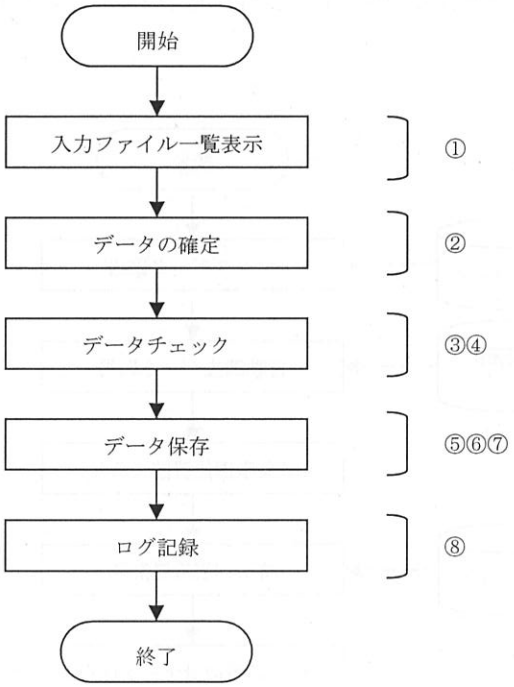

図 4　行動データの処理フロー

4−2　時系列空気中濃度マップデータ及び時系列摂取率計算の処理

処理フローを図 5 に示す。

本処理における詳細な仕様は下記の通りである。

(1) 濃度マップデータの確認

所定のフォルダ内に濃度マップデータが存在することを確認する。当該データは，拡散シミュレーションモデルから得られる計算領域最下層の二次元メッシュに格納される空気中濃度データであり，時系列毎及び核種毎に与えられる。二次元メッシュのサイズは 300×300 以上，時系列間隔は 1 時間毎（評価期間は 2011/3/11～2011/4/30）を想定し，発注者の提供する任意のデー

タフォーマットに対応すること。

(2) 時系列摂取率の計算

摂取量の計算は濃度マップデータの指定する時間間隔及び評価期間に対応して行う。

行動パターンにおける移動の処理については，移動元，移動先における濃度データを比較し，移動時間を考慮しつつ，適切な処理方法を発注者との協議の上で決定する。

行動データに記録された個人の滞在場所は緯度，経度により指定することを前提とし，該当する場所の空気中濃度を濃度マップデータから抽出する。この空気中濃度を元に，滞在した場所の屋内外の別，マスク等の着用の有無，生活習慣による呼吸率の違いなどを考慮し，吸入摂取量を計算する。

呼吸率としては，ICRP 刊行物（Publ.66）に与えられる年齢別呼吸率（3 か月児，1 歳児，5 歳児，10 歳児，15 歳児及び成人）の 1 日平均値，及び，各年齢別の生活習慣（睡眠，静座，軽作業，重作業）を考慮した呼吸率（表 1）を日パターンとして与える双方を指定できるようにする。

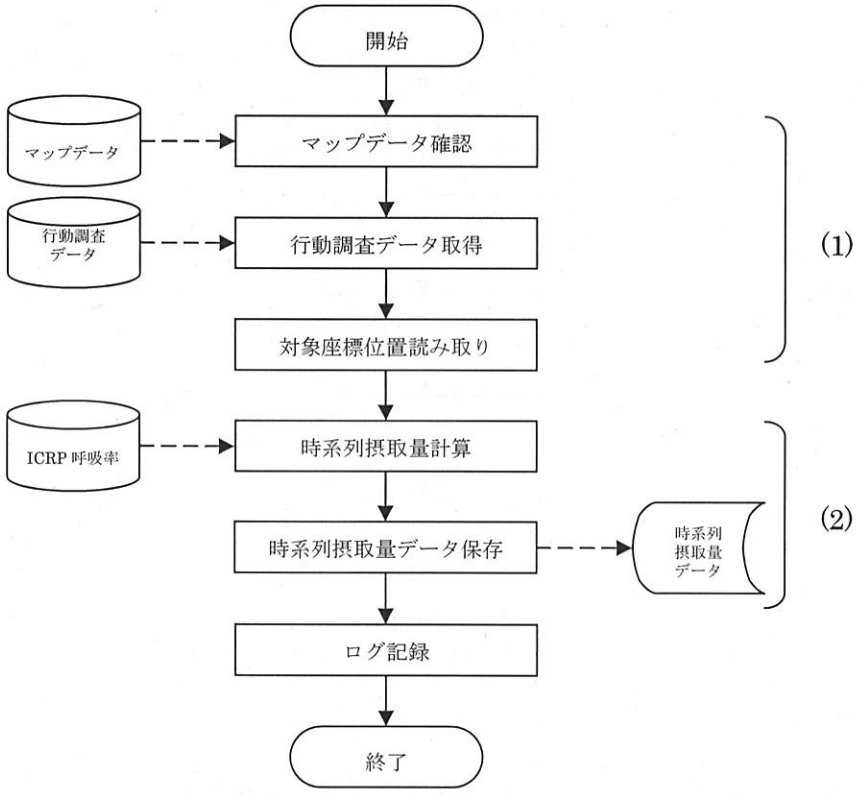

図 5　時系列空気中濃度マップデータ及び時系列摂取率計算の処理フロー

表１　ICRP 刊行物（Publ.66）に与えられる年齢別呼吸率

	3mo			1y			5y		
Exercise level	h	m3 h-1	m3	h	m3 h-1	m3	h	m3 h-1	m3
Sleep	17.0	0.09	1.53	14.0	0.15	2.10	12.00	0.24	2.88
Sitting				3.3	0.22	0.73	4.00	0.32	1.28
Light exercise	7.0	0.19	1.33	6.7	0.35	2.33	8.00	0.57	4.56
Heavy exercise									
Total			**2.86**			**5.16**			**8.72**

	10y			15y (male)			Adult (male)		
Exercise level	h	m3 h-1	m3	h	m3 h-1	m3	h	m3 h-1	m3
Sleep	10.00	0.31	3.10	10.0	0.42	4.20	8.0	0.45	3.60
Sitting	4.67	0.38	1.77	5.5	0.48	2.64	6.0	0.54	3.24
Light exercise	9.33	1.12	10.45	7.5	1.38	10.35	9.75	1.50	14.63
Heavy exercise				1.0	2.92	2.92	0.25	3.00	0.75
Total			**15.3**			**20.1**			**22.2**

3mo:	from 0 to 12 mo of age
1y:	from 1y to 2y
5y:	more than 2y to 7y
10y:	more than 7y to 12y
15y:	more than 12y ro 17y
adult:	more than 17y

4－3　内部被ばく線量計算①

本ステップの処理フローを図６に示す。

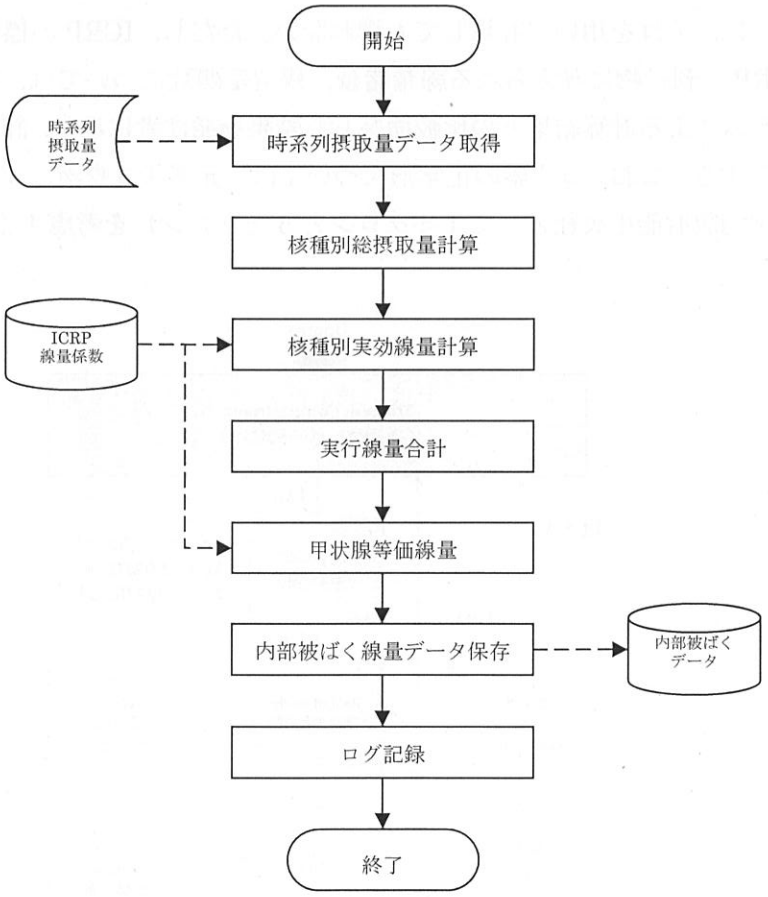

図６　内部被ばく線量計算①の処理フロー

本ステップで行う実効線量及び等価線量の計算は次式により行う。

$$D_{i,j} = \sum I_{i,j} \cdot e_{i,j}$$

ここで，$D_{i,j}$：核種 i 及び年齢区分 j の実効線量または等価線量

$I_{i,j}$：核種 i 及び年齢区分 j の摂取量

$e_{i,j}$：核種 i 及び年齢区分 j の実効線量係数または等価線量係数

総線量は，$D_{i,j}$ を評価対象とするすべての核種に対する積算値として与える。

本計算で使用する線量係数には，ICRP の刊行物又は CD-ROM に掲載されているデータを引用する。ただし，放射性ヨウ素（^{131}I，^{132}I 及び ^{133}I）については，日本人固有の線量諸量を導出する必要があることから，受注者においてこれらのデータを整備する。このための具体的な方法としては，図 7 に示す ICRP が開発した放射性ヨウ素に対する体内動態モデルを数学的に解き，各臓器（コンパートメント）中の核種の体内残留量の時間変化及び摂取時から 70 歳に至るまでの核種の総壊変数を計算するとともに，数学ファントムから導出される比実効エネルギー（SAF）を活用することで得られる等価線量及び実効線量を計算する。図 7 中に示すコンパートメント間の移行係数及び胃腸管吸収割合（f_1）については表 2 に示すとおりである。日本人固有の線量諸量は，図 7 中に示す通過コンパートメントから甲状腺への吸収割合を ICRP が指定する標準値である 30%から 10%または 20%として，上記の方法で計算する。なお，受注者が，このために利用できる計算コードを有している場合には，それを用いて計算しても構わない。ただし，ICRP の標準条件での線量諸量については，ICRP の刊行物に与えられる線量諸量，残留率関数については，放医研で開発した MONDAL システムによる計算結果との比較検証した結果を発注者に示し，計算の妥当性についての評価を得ることする。なお，ヨウ素の化学形については，元素状ヨウ素，ヨウ化メチル及びエアロゾル（空気力学的放射能中央径として 1 ミクロンと 5 ミクロン）を考慮する）

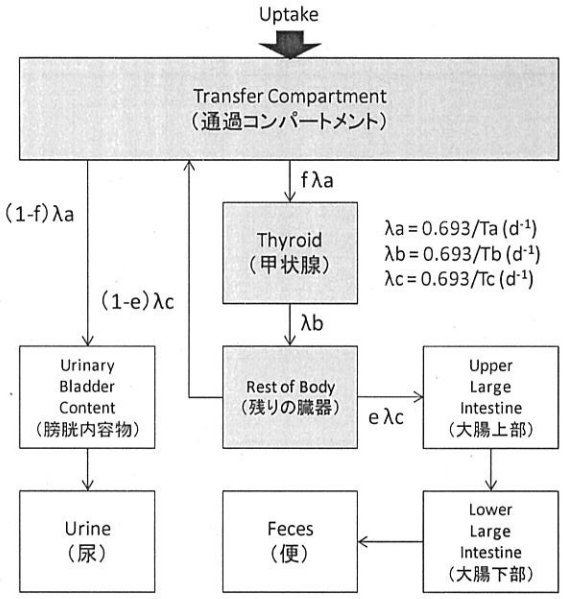

図 7　放射性ヨウ素に対する体内動態モデル（参考 ICRP Publ.56）

表２　放射性ヨウ素の体内動態モデル（参考 ICRP Publ.56）

Age	f1	甲状腺吸収(%)	便排泄(%)	血液 Ta(d)	甲状腺 Tb(d)	残り臓器 Tc(d)
3 mo	1	30	20	0.25	11.2	1.12
1-y	1	30	20	0.25	15	1.5
5-y	1	30	20	0.25	23	2.3
10-y	1	30	20	0.25	58	5.8
15-y	1	30	20	0.25	67	6.7
Adult	1*	30*	20	0.25*	80*	12*

* ICRP Publ.30からの引用。

4－4　内部被ばく線量計算②

処理フローを図８に示す。

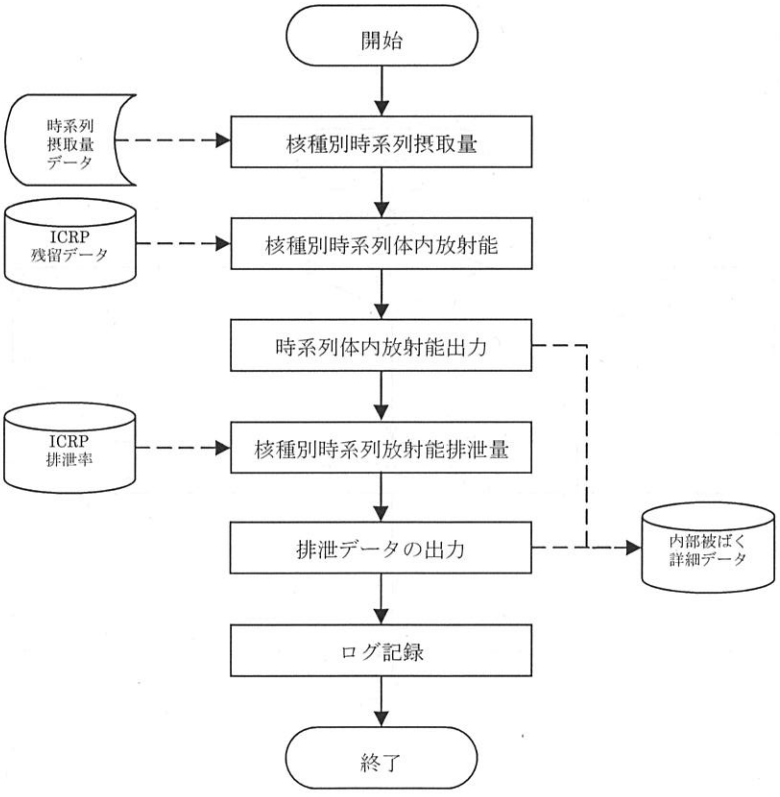

図８　内部被ばく線量計算①の処理フロー

全身残留量または甲状腺残留量の計算は次式で行う。

$$M_i(T) = \sum_t i_i(t)dt \times R_i(T-t)$$

ここで，　$M_i(T)$：時刻 T における核種 i の全身残留量または甲状腺残留量（個人計測量）

$i_i(t)$：時刻 t における時系列摂取率（dt は時系列摂取率の時間間隔）

$R_i(T-t)$：経過時間 T－t における全身残留率または甲状腺残留率

本処理における詳細な仕様は下記の通りである。

① 本ステップは，4－2「時系列空気中濃度マップデータ及び時系列摂取率計算処理」によって，データベース内に所定の時系列摂取率データが生成されていることを前提条件とする。

② データベースに格納された個人 ID を表示し，評価対象者を選択する。

③ 全身残留量を計算する核種は ^{134}Cs 及び ^{137}Cs，甲状腺残留量を計算する核種は ^{131}I とする。

④ 上記項目において，^{131}I の甲状腺残留量については，**4－3** で得られた日本人固有の残留率関数を用いた計算も可能とする。

⑤ 全身残留量または甲状腺残留量の計算は，摂取開始から 180 日まで対応可能とする。

4－5　ユーティリティ

処理フローを図 9 に示す。

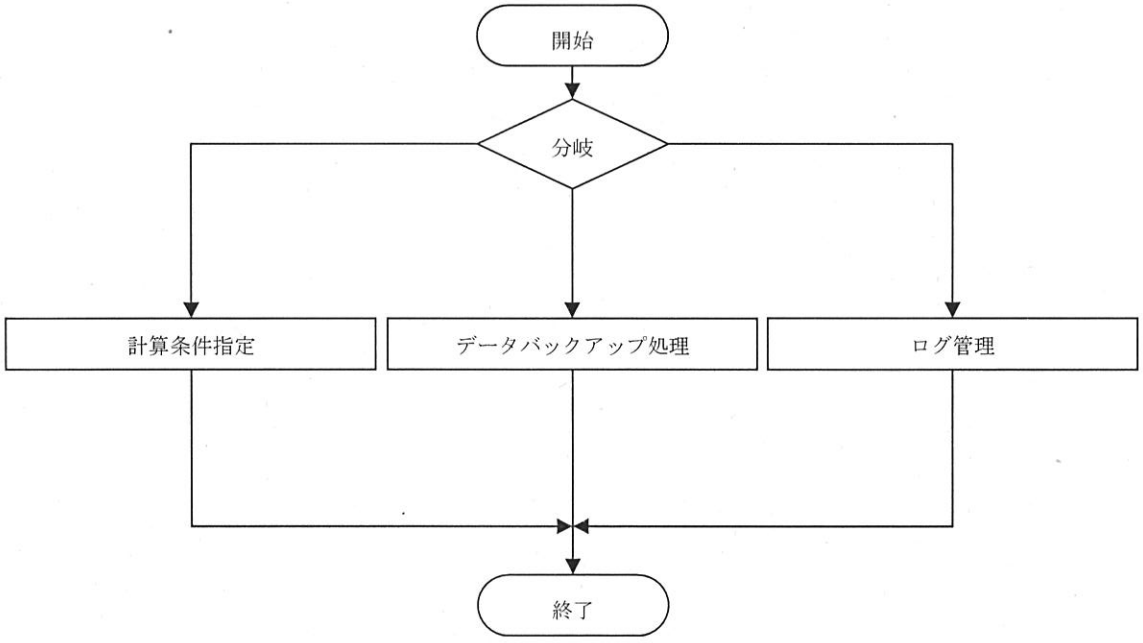

図 9　ユーティリティの処理フロー

本処理における詳細な仕様は下記の通りである。

(1) 線量計算用のデータセットの編集を所定のファイルを書き換えることで行えるようにする。ここで

述べるデータセットは以下を含む。

- 線量諸量（実効線量係数，等価線量係数，体内残留率）
- 呼吸率及び呼吸率の時間テーブル
- 防護係数（屋内，移動，屋外の状況に応じて 0.1 から 1.0 までの定数を指定）

(2) データバックアップ処理として，サーバ側で保存しているデータを所定の記録媒体に所定のフォーマットにてバックアップのためのコピーを生成する。

(3) 一連の処理の結果，途中経過及びユーザー名などが記録されているログのデータの取り出し、削除等を行う。

5. ソフトウェア要件

5－1 内部被ばく線量計算サーバ

内部被ばく線量計算サーバにおけるソフトウェア要件を以下に示す。すべて入手可能なオープンソースソフトウェアでの構成を検討すること。オープンソースソフトウェアの採択に当たってはライセンス要件等にも留意すること。実際に採用するソフトウェア要件については、放医研への承諾を得た上で作業の実施を行うこと。

(1) OS

オープンソース OS。Linux ディストリビューションを検討すること。

(2) データベースサーバ

PostgreSQL や MySQL 等のオープンソースデータベース

(3) 開発言語

オープンソース言語

5－2 所内端末（クライアント）

内部被ばく線量計算サーバを利用するための端末についてソフトウェア要件を以下に示す。

(1) OS

Windows または Mac OS X 等、放医研内で広く利用されているものを想定すること。詳細については放医研と協議の上決定すること。

(2) 端末用ソフトウェア

上記 OS 上で稼働可能なフリーソフトウェアで入手可能な Secure Shell（SSH）アクセスが可能な SSH クライアントソフトウェアを検討すること。詳細については放医研と協議の上決定すること。

6. ハードウエア要件

本業務で開発するプログラムをインストールするサーバは，発注者が別に用意する表 3 の仕様の環境で稼働させること。

（別添資料）

表 3　開発するプログラムをインストールするサーバの仕様

項目	仕様
機種	DL380p Gen8 LFF RDIMM モデル（日本 HP）
CPU	Xeon E5-2643 3.30GHz 1P/4C CPU
メモリ	HP 16GB 2R×4 PC3-12800R-11 メモリキット
HDD	RAID 6、600GB 15rpm SC3.5 型 6G SAS HDD×6 個
Network	HP Ethernet 1Gb 4 ポート
電源	パワーサプライオプションキット（750W）
無停電源	HP UPS R1500 G3

7. 情報セキュリティ要件

7－1　機密の保持

本業務の一切（当研究所から開示された資料や情報を含む）について，秘密の保持に留意し，漏えい防止の責任を負う。

7－2　情報セキュリティ対策

(1) 受注者は，本業務の実施において情報セキュリティを確保するための体制を整備するとともに，情報漏えい等の情報セキュリティ侵害への対策を十分に講ずること。

(2) 受注者は，本業務に係る情報セキュリティ対策の履行状況について，発注者が報告を求めた場合には速やかに報告するとともに，情報セキュリティ対策について発注者が改善を求めた場合には，発注者と協議の上，合意した体制を実施すること。

(3) 受注者は，機密保持等及び情報セキュリティ対策の事項に違反した事実を認めた場合には速やかに発注者に報告するとともに，発注者の指示に従い必要な措置を講ずること。

(4) 本業務実施に当たっては，要員に対しては個人情報の取り扱いを含む情報セキュリティ教育を実施すること。

8. 検査要件

8－1　検査実施計画書の作成

受注者は検査実施計画書を作成し，発注者の了承を得ること。なお，実施する検査項目には表 4 に挙げる項目を含めること。

（別添資料）

表 4　大気拡散シミュレーションに基づく内部被ばく線量計算プログラムに関わる検査項目と検査内容

番号	項目	検査内容
1	住民の行動調査データ処理	被ばく評価の対象となる個人の行動パターンがグラム内のデータベースに登録できる。
2	時系列空気中濃度マップデータ処理	吸入による放射性核種の摂取量の時系列データが作成できる。
3	内部被ばく線量計算①	核種別の内部被ばく線量（実効線量と甲状腺等価線量）を算出し，データベースに登録できる。
4	内部被ばく線量計算②	ホールボディカウンタや甲状腺モニタにより得られた計測値と比較できる体内残留量を計算し，データベースに登録できる。
5	ユーティティ	システムが内部に保持する種々のデータのメインテナンスが行える。

8－2　検査結果報告

受注者は検査結果報告書を作成し，発注者の了承を得ること。検査において不具合等が確認された場合には，速やかに発注者に報告を行い，不具合の原因を取り除き，検査項目が全て合格するようすること。

9. 瑕疵責任

受注者は，以下の瑕疵担保責任を負うものとする。瑕疵担保責任期間は当研究所の検収後 1 年間とする。

① 受注者は，受注者は本業務にて納入する全ての納入成果物について，瑕疵担保責任を負う。

② 受注者は，納入成果物に瑕疵があった場合，納入成果物を修正の上，提出する。

10. 知的財産権

(1) 本業務の納入成果物の著作権は，検収が完了した時点で，当研究所に移転する。ただし，本業務実施以前に他で通常共通して使用されたもの，受注者がこの契約締結前から権利を有している著作権等を除く。

(2) 業務における成果物に第三者が権利を有する著作物が含まれる場合，受注者は当該著作物の使用に必要な費用負担や使用許諾契約に係る一切の手続きを行うこと。この場合は，事前に発注者に報告し，了承を得ること。なお、第三者との間に著作権に係る権利侵害の紛争が生じたときは，当該紛争の原

（別添資料）

因が自ら発注者の責に帰す場合を除き，受注者の責任，負担において一切を処理すること。

11. その他

(1) 受注者は本件に係る作業において不明な点が生じたときは遅滞なく報告し，発注者と協議を行い，その決定に従うこと。

(2) 受注者は発注者が実施する「平成 24 年度原子力災害影響調査等事業（事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばく線量評価調査）」の進捗状況に応じ，暫定的な計算結果を的確に提供すること。（本年 11 月以降に第二回目の国際シンポジウムを予定）

（別添資料）

付録　国際放射線防護委員会の刊行物等に与えられる線量諸量のリスト

Table I.1. Summary of reports on dose coefficients for workers and members of the public from intakes of radionuclides

ICRP Publication No. (year)	Application		Contents
56 (1989)	Public*	Inhalation and ingestion	Age-dependent biokinetic models with effective dose coefficients and tissue equivalent dose coefficients for selected radioisotopes of H, C, Sr, Zr, Nb, Ru, I, Cs, Ce, Pu, Am, and Np. Predates *Publication 60* (ICRP, 1991) hence used tissue weighting factors from *Publication 26* (ICRP, 1977). Predates *Publication 66* (ICRP, 1994b), hence used lung model from *Publication 30* (ICRP, 1979). The dose coefficients given in *Publication 56* were superseded by those in *Publications 67* and *71*.
67 (1993)	Public*	Ingestion	Age-dependent biokinetic models with effective dose coefficients and tissue equivalent dose coefficients for ingestion of selected radioisotopes of S, Co, Ni, Zn, Mo, Te, Ag, Te, Ba, Pb, Po, and Ra. Updated biokinetic models are given for Sr, Pu, Am, and Np. Updated dose coefficients are given for H, C, Sr, Zr, Nb, Ru, I, Cs, Ce, Pu, Am, and Np using tissue weighting factors from *Publication 60* (ICRP, 1991)
68 (1994)	Workers	Inhalation and ingestion	Effective dose coefficients for workers for about 800 radionuclides: selected radioisotopes of the 91 elements covered in *Publication 30, Parts 1–4* (ICRP, 1979, 1980, 1981, 1988b). Intakes by both ingestion and inhalation. The inhalation dose coefficients for workers exposed to ^{226}Ra given in *Publication 68* were revised in Annex B of *Publication 72*. Human respiratory tract model (HRTM) applied for inhalation intakes [*Publication 66* (ICRP, 1994a)].
69 (1995)	Public*	Ingestion	Age-dependent biokinetic models with effective dose coefficients and tissue equivalent dose coefficients for ingestion of selected radioisotopes for Fe, Sb, Se, Th, and U.
71 (1995)	Public*	Inhalation	Effective dose coefficients and tissue equivalent dose coefficients for inhalation of the radioisotopes of elements covered in *Publications 56, 67*, and *69*, plus isotopes of Ca and Cm for which age-dependent biokinetic models are also given. HRTM applied.
72 (1996)	Public*	Inhalation and ingestion	Effective dose coefficients for radioisotopes of the 31 elements covered in *Publications 56, 67, 69*, and *71*, plus radioisotopes of the further 60 elements covered in *Publications 30* and *68*. Intakes by both ingestion and inhalation. HRTM applied.
CD1 (1999)	Public* and workers	Inhalation and ingestion	A database of effective and tissue equivalent dose coefficients for 10 aerosol particle sizes and 10 times after intake. All radionuclides covered in *Publications 68* and *72*. Consistent with the dose coefficients in *Publications 68* and *72*. Extensive help files also provided.
88 (2001)	Public and workers	Inhalation and ingestion	Fetal dose coefficients for intakes before and during pregnancy of the 31 elements covered in *Publications 56, 67, 69, and 71*, including doses to the embryo and fetus and to the child from activity retained at birth.
CD2 (2002)	Public and workers	Inhalation and ingestion	A database of effective and tissue equivalent fetal dose coefficients for 10 aerosol particle sizes and five times after birth. All radionuclides covered in *Publication 88*. Consistent with the dose coefficients in *Publication 88*. Extensive help files also provided.

* Age-dependent dose coefficients (3 months, 1, 5, 10, and 15 years, and adult).

※　ICRP Publ.95 から引用